第47卷 第1期
2024年1月

干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

Vol. 47 No. 1
Jan. 2024

黄河流域绿色创新的时空演化特征及影响因素分析

任贵秀， 刘 凯

（山东师范大学地理与环境学院，山东 济南 250358）

摘 要： 以2005—2020年黄河流域89个地级及以上城市为研究对象，运用绿色专利数据表征绿色创新水平，利用标准差椭圆和空间自相关揭示绿色创新的时空演化格局，并利用空间杜宾模型分析绿色创新的影响因素并分解各因素的空间效应。结果表明：(1) 黄河流域以及上游、中游和下游的绿色创新均呈现出快速发展趋势。(2) 绿色创新的标准差椭圆呈现"东北—西南"向分布格局，各参数基本稳定，重心呈现"先东后西"的移动特征。(3) 绿色创新全局空间自相关关系明显，局部空间自相关以高-高型和低-低型为主。(4) 科技投入对绿色创新具有显著的正向促进作用，城市研究与试验发展人员全时当量和第三产业占GDP比重具有显著的负向空间溢出效应，公共图书馆藏书量与建成区绿化覆盖率产生显著的正向空间溢出效应。(5) 科技投入对黄河上游绿色创新的正向促进作用最强，产业结构高级化可以显著促进黄河中游绿色创新的发展，社会文化对黄河下游绿色创新存在较强的正向促进作用。

关 键 词： 绿色创新；标准差椭圆；空间自相关；空间杜宾模型；黄河流域

文章编号： 1000－6060(2024)01－0158－12(0158～0169)

黄河是中华民族的母亲河，2019年黄河流域生态保护和高质量发展正式成为国家战略。但黄河流域生态环境相对脆弱、资源开发过度、产业转型升级困难等问题严重阻碍了其生态保护和高质量发展的进程[1]。绿色创新也被称为"可持续创新""生态创新"或"环境创新"，具有资源节约和环境改善作用[2]，是通过产品创新、技术创新、观念创新和制度创新等方式减少对环境负面影响的一种创新[3-5]。因其结合了"绿色"和"创新"两大发展理念，致力于在绿色环保目标下实现经济增长，所以可以被视为推动实现黄河流域生态保护和高质量发展的重要动力。

近年来，绿色创新吸引了众多学者的关注，其研究热点主要有绿色创新的时空演变、影响因素以及溢出效应。关于绿色创新的时空演变，已有研究选择全国省域单元或重点区域的城市单元作为研究对象，如长江经济带[6]、长三角地区[7]、粤港澳大湾区[8]等区域。并且在绿色创新水平或效率评价后，通过空间自相关[9]、Kernel密度估计[10]、标准差椭圆[11]与Dagum基尼系数[12]等方法进一步分析了其时空格局与演变特征。关于绿色创新的影响因素，已有研究主要关注了环境规制[13]、科技投入[14]和经济基础等因素对绿色创新的影响，并通过空间计量模型[15]、Shapley分解[16]、社会网络分析[17]、Tobit模型[18]、地理探测器[19]等方法进行分析。在研究绿色创新影响因素过程中，已有文献重点研究了单一因素对绿色创新的影响，通过系统综合视角进行绿色创新影响因素的研究相对缺乏。关于绿色创新的溢出效应，已有研究证实了绿色创新对经济增长[20]和环境规制[21]等方面具有显著的溢出效应。

综合上述研究可以发现，在绿色创新时空演化和溢出效应研究区域选择方面，已有文献对全国、长江经济带、长江三角洲、粤港澳大湾区等重点区域展开了大量研究。虽然黄河流域绿色创新问题

收稿日期： 2023-06-27； **修订日期：** 2023-09-14

基金项目： 国家自然科学基金项目(72004124，72373084)；山东省高等学校青创科技支持计划(省优秀青年创新团队)(2022RW064)；山东省重点研发计划(软科学项目)(2022RKY04002)；山东省人文社会科学课题(2022-YYJJ-32)资助

作者简介： 任贵秀(1999-)，女，硕士研究生，主要从事经济地理研究. E-mail: r18865397037@163.com

通讯作者： 刘凯(1988-)，男，博士，副教授，主要从事经济地理、城市地理、环境经济研究. E-mail: liukaisdnu@163.com

近年来得到关注,例如,许玉洁等[11]、孙勇等[16]研究了黄河流域绿色创新的时空格局问题,但研究热度相比于其他重点区域仍然相对欠缺,并且对于绿色创新空间溢出效应以及空间溢出效应作用路径的分析有待进一步深化和完善。基于此,本文以2005—2020年黄河流域地级及以上城市(以下简称"城市",包括地级及以上城市、自治州、盟)为研究对象,以绿色专利作为衡量绿色创新水平的指标,运用标准差椭圆和空间自相关分析绿色创新的空间分异,利用空间杜宾模型分析科技投入、经济基础、社会文化、环境质量对绿色创新的影响,试图探明黄河流域绿色创新的空间分异规律以及作用机制,为黄河流域城市绿色、创新、高质量发展提供参考和借鉴。

1 数据与方法

1.1 数据来源

参考已有研究[16,22],选择黄河流域8个省区(青海、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南和山东)的89个城市作为研究区域。所需数据包括3方面:(1) 绿色专利数据。绿色专利是指以绿色技术为发明主题的发明、实用新型和外观设计专利[23-24],与已有文献建立指标体系反映绿色创新水平相比[4,21],绿色专利可以聚焦、真实反映绿色技术创新水平,既可以排除指标体系中与绿色创新相关性较弱指标的干扰,也能够克服建立指标体系反映绿色创新无法继续利用空间计量模型研究绿色创新的影响因素和溢出效应的弊端,并且将绿色专利数量作为衡量绿色创新水平的指标已成为较为普遍的做法[5,17,19,25]。因此,本文利用绿色专利反映绿色创新水平,通过网络爬虫技术在国家知识产权局专利检索及分析系统(pss-system.cnipa.gov.cn)获取2005—2020年黄河流域89个城市绿色发明专利授权量数据。(2) 基础地理信息数据。利用国家基础地理信息中心提供的1:4000000中国基础地理信息数据制作矢量行政边界图。(3) 影响因素数据。包括科学技术支出、城市研究与试验发展(RD)人员全时当量(简称RD人员当时全量)、人均GDP、第三产业占GDP比重、职工平均工资、公共图书馆藏书量、建成区绿化覆盖率、工业SO_2排放量,来源于中国经济社会大数据研究平台(https://data.cnki.net/)中的《中国城市统计年鉴》。考虑到数据可得性和完整性,从89个城市中选择81个城市来分析绿色创新的影响因素(剔除了海东市、海南藏族自治州、海西蒙古族藏族自治州、玉树藏族自治州、果洛藏族自治州、海北藏族自治州、黄南藏族自治州和济源市)。

1.2 研究方法

1.2.1 标准差椭圆 标准差椭圆是ArcGIS中利用重心坐标以及其他基本参数揭示要素空间分布特征的空间分析方法[26-27]。具体公式为:

$$G(X,Y)=\left[\frac{\sum_{i=1}^{n}w_i\times x_i}{\sum_{i=1}^{n}w_i},\frac{\sum_{i=1}^{n}w_i\times y_i}{\sum_{i=1}^{n}w_i}\right] \quad (1)$$

$$\tan\theta=\frac{\left(\sum_{i=1}^{n}w_i^2\tilde{x}_i^2-\sum_{i=1}^{n}w_i^2\tilde{y}_i^2\right)+\sqrt{\left(\sum_{i=1}^{n}w_i^2\tilde{x}_i^2-\sum_{i=1}^{n}w_i^2\tilde{y}_i^2\right)^2+4\sum_{i=1}^{n}w_i^2\tilde{x}_i^2\tilde{y}_i^2}}{\sum_{i=1}^{n}2w_i^2\tilde{x}_i^2\tilde{y}_i^2} \quad (2)$$

$$\partial_x=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(w_i\tilde{x}_i\cos\theta-w_i\tilde{y}_i\sin\theta\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}w_i^2}} \quad (3)$$

$$\partial_y=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(w_i\tilde{x}_i\sin\theta-w_i\tilde{y}_i\cos\theta\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}w_i^2}} \quad (4)$$

式中:$G(X,Y)$为黄河流域绿色创新的重心坐标;n为地级城市个数;$\tilde{x}_i$和$\tilde{y}_i$分别为各研究对象区位到平均中心的坐标偏差;∂_x和∂_y分别为沿x轴和y轴的标准差;x_i和y_i为绿色创新分布的空间区域;w_i为权重;θ为椭圆方位角,表示椭圆正北方与长轴之间的夹角。

1.2.2 空间自相关 空间自相关是通过全局空间自相关和局部空间自相关来分析事物空间聚集特征的空间分析方法[28-29]。全局空间自相关常用来判断研究事物的整体空间关联程度及其显著性强弱,其计算公式如下:

$$I=\frac{n\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}W_{ij}\left(x_i-\bar{x}\right)\left(x_j-\bar{x}\right)}{n\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}W_{ij}\left(x_i-\bar{x}\right)^2} \quad (5)$$

局部空间自相关可以描述一个空间单元与其邻域的相似程度[30],为分析绿色创新的空间关联及差异程度进一步采用局部空间自相关方法。其计

算公式为：

$$I' = \left[n\left(x_i - \bar{x}\right) \sum_{j=1}^{n} W_{ij}\left(x_j - \bar{x}\right) \right] / \sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2 \qquad (6)$$

式中：I为全局莫兰指数；I'为局部莫兰指数；n为研究对象数量；x_i和y_i为城市i和j的绿色专利数量；$\bar{x}_i$为平均值；W_{ij}为空间权重矩阵。

1.2.3 空间杜宾模型 在空间杜宾模型中，研究空间依赖性通过解释变量和被解释变量滞后项的形式共同体现[31]，可以同时体现空间效应和时间效应[32]。空间杜宾模型的一般公式如下：

$$y = \lambda Wy + X\beta + WX\delta + \varepsilon \qquad (7)$$

式中：y为绿色创新；W为变量的空间权重矩阵；X为绿色创新的影响因素矩阵；β和δ为待估计的常数回归参数向量；λ为空间回归系数；ε为随机扰动项。

2 结果与分析

2.1 黄河流域绿色创新时间演变特征

从黄河流域整体来看，绿色创新在研究期内呈现快速增长趋势，绿色专利从2005年的1185件上升到2020年的54160件，年均增长率为29.02%（图1）。从黄河流域上、中、下游来看，黄河流域不同区域的绿色创新也均呈现出上升趋势。下游绿色专利数量由2005年的827件上升到2020年的37205件，年均增长率为28.87%；中游绿色专利数量由2005年的305件上升到2020年的12965件，年均增长率为28.40%；上游绿色专利数量由2005年的74件上升到2020年的3770件，年均增长率为29.96%。进一步对3个区域进行对比来看，下游绿色创新水平明显高于中游和上游地区，但是上游绿色创新增长率最高。

2.2 黄河流域绿色创新空间特征

2.2.1 标准差椭圆分析 2005—2020年黄河流域绿色创新标准差椭圆方向性明显，始终呈现"东北—西南"向分布格局（图2）。标准差椭圆各参数基本稳定（表1），呈现出小幅度变动。椭圆面积和形状指数呈现波动增加的趋势，长半轴呈现先减小后增大的趋势，短半轴呈现波动增大的趋势，且短轴的伸缩幅度强于长轴，表现出圆化趋势。表明2005—2020年绿色创新的集中度略有减弱，东西向对绿色创新的拉动作用逐渐减弱。方位角逐渐增大，表明黄河流域城市绿色创新西北和东南地区的城市绿色创新有所提升，推动标准差椭圆顺时针旋转。标准差椭圆重心位于黄河流域下游（114°04′~114°34′E，35°59′~36°06′N），原因在于下游地区绿色创新水平高于中游和上游地区，导致重心稳定位于下游地区。标准差椭圆重心呈现"先向东、后向西"的移动特征。从2005年至2010年，重心向东移动，说明黄河流域绿色创新向下游集聚趋势，也反映出黄河流域下游地区和中游、上游地区相比的领先优势进一步扩大；从2010年至2020年，重心逐渐向西移动，说明绿色创新出现向中游和上游集聚的趋势，中游和上游绿色技术创新水平有所提高，与下游地区的

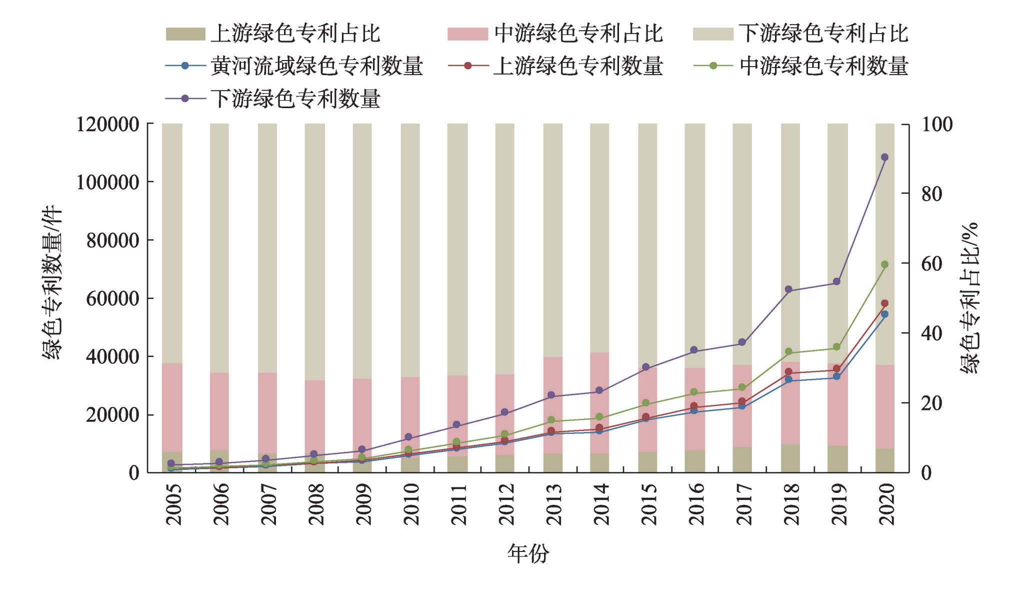
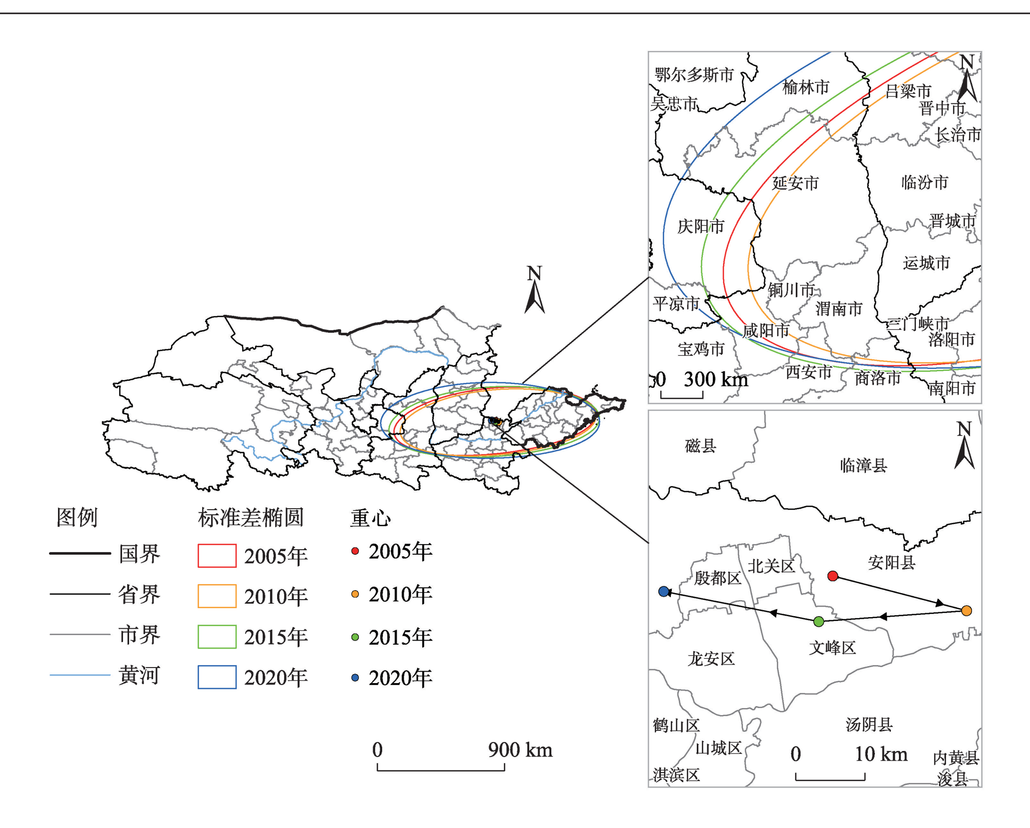


图1 黄河流域绿色创新演化趋势

Fig. 1 Evolution trend of green innovation in the Yellow River Basin



注：该图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为GS(2022)4309号的标准地图制作，底图边界无修改。下同。

图2　2005—2020年黄河流域绿色创新标准差椭圆及其重心迁移轨迹

Fig. 2　Standard deviation ellipse of green innovation and its center of gravity migration trajectory in the Yellow River Basin from 2005 to 2020

表1　2005—2020年黄河流域绿色创新标准差椭圆参数

Tab. 1　Standard deviation ellipse parameters of green innovation in the Yellow River Basin from 2005 to 2020

年份	长半轴/km	短半轴/km	方位角/(°)	重心坐标	形状指数	面积/km²
2005	612.578	242.480	69.788	114°22'E，36°04'N	0.396	466581.228
2010	592.760	240.711	70.393	114°34'E，35°59'N	0.406	448195.087
2015	635.555	257.486	72.279	114°19'E，36°01'N	0.405	514041.866
2020	657.854	279.872	76.636	114°04'E，36°06'N	0.425	578343.083

差距有所缩小。

2.2.2　空间相关性分析　利用Stata 17.0计算出2005—2020年黄河流域绿色创新的全局莫兰指数(表2)。2005—2020年全局莫兰指数均大于0，且通过了1%显著性检验，表明黄河流域绿色创新存在显著的空间正相关性，空间集聚特征明显，可能的原因在于绿色创新受到科技投入、经济基础、社会文化、资源禀赋、环境质量等因素的影响，而黄河流域上、中、下游城市之间在自然条件与社会基础等方面存在显著的空间差异，从而导致绿色创新空间集聚特征明显。

利用ArcGIS 10.8软件绘制黄河流域绿色创新的局部空间自相关结果(图3)。由图3可知，黄河流域绿色创新高-高集聚区集中在黄河下游的山东半岛城市群，与这一区域经济基础好，拥有大量高素质的绿色创新人才因素有直接关系，政府对于绿色创新的投入大。低-低集聚区主要分布在黄河上游的青海、宁夏、甘肃，以及中游的部分城市，可能的原因在于这些城市经济基础较为薄弱，人才相对匮乏且流失严重。兰州属于高-低集聚区，绿色创新水平明显高于周边区域，而日照和商洛属于低-高集聚区，绿色创新和周边区域相比存在明显差距。整体来看，2005—2020年黄河流域绿色创新的局部空间自相关结果相对保持稳定，没有发生明显的时空变化。

表2 2005—2020年黄河流域绿色创新全局莫兰指数

Tab. 2 Global Moran's *I* index of green innovation in the Yellow River Basin from 2005 to 2020

年份	Z值	P值	全局莫兰指数	年份	Z值	P值	全局莫兰指数
2005	2.817	0.002	0.272	2013	4.028	0.000	0.394
2006	4.632	0.000	0.456	2014	3.854	0.000	0.376
2007	4.046	0.000	0.396	2015	4.159	0.000	0.408
2008	3.910	0.000	0.383	2016	4.126	0.000	0.404
2009	3.561	0.000	0.348	2017	4.194	0.000	0.410
2010	4.239	0.000	0.416	2018	3.758	0.000	0.366
2011	4.072	0.000	0.399	2019	3.165	0.001	0.307
2012	3.878	0.000	0.379	2020	3.642	0.000	0.354

注:Z值表示统计值;P值表示概率。

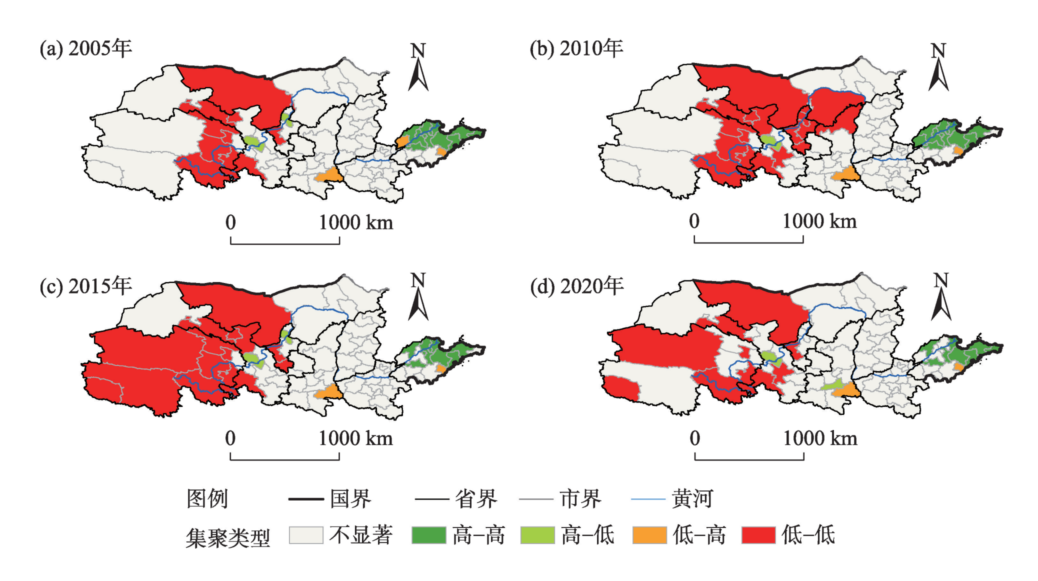


图3 2005—2020年黄河流域绿色创新局部空间自相关结果

Fig. 3 Local spatial autocorrelation results of green innovation in the Yellow River Basin from 2005 to 2020

2.3 黄河流域绿色创新的影响因素

2.3.1 变量的选取 参考已有研究[21,33-34],从科技投入、经济基础、社会文化和环境质量4个方面入手分析黄河流域绿色创新的影响因素。绿色创新作为一种新型创新活动,首先受到科技投入的影响,并且对科技投入的依赖程度明显高于传统创新活动[35-36]。本文选择科学技术支出[ln(x_1)]和RD人员全时当量[ln(x_2)]来表征科技投入。经济对绿色创新起到基础性作用,经济发展水平高的城市往往更有能力为绿色创新提供充足的投入要素[11,37],本文选择人均GDP[ln(x_3)]和第三产业占GDP比重(x_4)表征经济基础。社会文化对绿色创新起到调节和引导作用[38-39],可以影响绿色创新的发展潜力,本文以职工平均工资[ln(x_5)]、公共图书馆藏书量[ln(x_6)]2个变量来表征社会文化。环境质量对绿色创新起到间接推动作用,比如通过吸引创新型人才提高绿色创新水平[40],本文利用建成区绿化覆盖率(x_7)和工业SO_2排放量[ln(x_8)]表示环境质量。利用方差膨胀因子(VIF)对各影响因素进行多重共线性分析[41],VIF值均小于5,说明相互间不存在共线性问题。各影响因素的描述性统计和VIF值如表3所示。

2.3.2 空间杜宾模型回归分析与空间效应研究 空间自相关检验结果表明黄河流域绿色创新具有显著的空间关联特征,因此本文采用空间计量模型对其影响因素进行分析。根据Elhorst模型选择方法[42]进行了检验,确定选择时间固定效应的空间杜宾模型。空间杜宾分解模型更能体现地理要素的溢出效应,包括直接、间接和总效应。直接效应反映了本地某一影响因素对本地绿色创新的影响;间接效应也称为空间溢出效应,反映了邻近地区某一影响因素对本地绿色创新的影响;总效应为某一影响因素对黄河流域绿色创新的影响[43-44]。在空间邻

表3 变量描述性统计

Tab. 3 Descriptive statistics of variables

影响因素	因子选取	符号	均值	标准差	最大值	最小值	方差膨胀因子(VIF)
科技投入	科学技术支出/10^4元	$\ln(x_1)$	9.42	1.51	13.45	3.53	4.81
	RD人员全时当量/人·a^{-1}	$\ln(x_2)$	8.35	0.99	10.97	5.70	4.04
经济基础	人均GDP/元	$\ln(x_3)$	10.37	0.76	12.46	7.78	3.79
	第三产业占GDP比重/%	x_4	38.63	10.80	74.14	11.38	1.94
社会文化	职工平均工资/元	$\ln(x_5)$	10.54	0.55	11.83	8.99	4.91
	公共图书馆藏书量/10^3册	$\ln(x_6)$	7.03	0.91	11.32	3.66	2.94
环境质量	建成区绿化覆盖率/%	x_7	36.55	8.07	71.81	1.64	1.61
	工业SO_2排放量/t	$\ln(x_8)$	10.41	1.27	12.73	6.25	1.51

接权重矩阵和地理距离矩阵下,各变量的系数方向与显著性基本保持一致,反映了空间杜宾模型的稳健性。本文以空间邻接权重矩阵为例进行结果分析。相关结果如表4所示。

在科技投入方面,科学技术支出和RD人员全时当量均通过了1%显著性检验,系数分别为0.178和0.743,说明科技投入对黄河流域绿色创新具有显著促进作用,且相较于科技支出,科技人员对绿色创新发展的推动作用更强。从效应分解来看,科学技术支出的直接效应显著为正,间接效应不显著,说明科学投入的增加会明显促进本地绿色创新的发展。而RD人员全时当量的直接效应显著为正,间接效应显著为负,说明一个城市科技人才的增加在促进本地绿色创新发展的同时,会抑制周边城市绿色创新的发展。可能的原因在于科技人才在一个城市集聚为该城市提供大量人力和智力资源,成为促进绿色创新水平提高的重要力量;而能够集聚科技人才的城市往往是具有一定经济基础的省会城市或大城市,人才集聚的过程可能是大城市通过"虹吸效应"吸引周边中小城市科技人才的过程,让周边中小城市失去绿色创新的人力和智力资源,从而导致RD人员间接效应显著为负的结果[45]。

在经济基础方面,人均GDP和第三产业占GDP比重通过1%显著性检验情况下,系数分别为0.268和0.0206,说明经济基础对黄河流域绿色创新具有正向推动作用。直接效应显示,人均GDP和第三产业占GDP比重的直接效应显著为正,且均通过了1%显著性检验,说明经济基础对本地绿色创新具有显著的直接影响。从间接效应来看,人均GDP的间接效应不显著,而第三产业占GDP比重的间接效应为−0.00967,且通过了5%显著性检验。说明第三产业占GDP比重存在明显负向空间溢出效应,即这一

表4 空间杜宾模型结果

Tab. 4 Regression results of spatial Dubin model

变量	主效应项(t统计值)	空间滞后项(t统计值)	直接效应(t统计值)	间接效应(t统计值)	总效应(t统计值)
$\ln(x_1)$	0.178***(0.0359)	−0.0149(0.0436)	0.178***(0.0361)	−0.0263(0.0485)	0.151**(0.0642)
$\ln(x_2)$	0.743***(0.0620)	0.743***(0.0620)	0.743***(0.0620)	−0.104*(0.0533)	0.631***(0.0857)
$\ln(x_3)$	0.268***(0.0432)	0.109(0.0832)	0.278***(0.0421)	0.153(0.0957)	0.430***(0.106)
x_4	0.0206***(0.00255)	−0.0112***(0.00359)	0.0204***(0.00272)	−0.00967**(0.00417)	0.0107*(0.0056)
$\ln(x_5)$	−0.489***(0.0766)	0.138(0.193)	−0.498***(0.0822)	0.0858(0.216)	−0.412(0.281)
$\ln(x_6)$	0.222***(0.0403)	0.138**(0.0673)	0.230***(0.0376)	0.165**(0.0761)	0.395***(0.0958)
x_7	0.00798***(0.0025)	0.0119***(0.00408)	0.00852***(0.00225)	0.0134***(0.00473)	0.0219**(0.0053)
$\ln(x_8)$	0.155***(0.0213)	−0.0503(0.0332)	0.151***(0.0195)	−0.0441(0.0387)	0.107***(0.0356)
Spatial rho	0.0876***(0.0336)	–	–	–	–
N	1296	–	–	–	–
R^2	0.748	–	–	–	–

注:t统计值为平均值等同性t检验结果;Spatial rho为空间杜宾模型的回归系数;N为样本数量;R^2为模型的拟合优度,R^2越接近1,说明模型对观测值的拟合程度越好;*、**、***分别表示在$P<0.1$、$P<0.05$、$P<0.01$水平上显著。下同。

指标的增加会对周边地区绿色创新的发展产生一定的阻碍作用。可能的原因在于,城市在自身产业结构的调整与优化过程中,会将淘汰的落后产业向其他城市转移,受到距离摩擦和地理学第一定律的影响,周边城市往往会成为承接产业转移的重要地点,这些产业可能包含高耗能、高污染行业,可能会发生产业转移现象,城市倾向发展更清洁更高效的绿色创新产业,而将低质低效的产业转移给周边城市,造成周边城市能源消耗与环境污染的增加,从而对绿色创新产生抑制作用[46]。

在社会文化方面,职工平均工资的系数为-0.489,公共图书馆藏书量的系数为0.222,均通过了1%显著性检验,说明社会文化的不同方面对绿色创新会产生不同作用。进一步从直接效应来看,职工平均工资的直接效应显著为负,公共图书馆藏书量的直接效应显著为正,说明职工平均工资对本地绿色创新具有显著的抑制作用,而公共图书馆藏书量可以促进本地绿色创新的发展。可能的原因在于,职工平均工资的增加意味着劳动成本的增加,对黄河流域当前阶段向绿色创新领域投入更多资金产生一定的消极影响[47-48]。从间接效应来看,职工平均工资的间接效应不显著,而公共图书馆藏书量的间接效应系数为0.165,通过了5%显著性检验。说明公共图书馆藏书量存在显著的正向空间溢出效应,一个城市公共图书馆藏书量的增加,在促进本地绿色创新发展的同时,会辐射带动周边绿色创新的发展。

在环境质量方面,建成区绿化覆盖率与工业SO_2排放量均通过了1%显著性检验,系数分别为0.00798和0.155,说明两者对黄河流域绿色创新具有显著的正向作用。进一步从直接效应来看,建成区绿化覆盖率与工业SO_2排放量直接效应均显著为正,且通过了1%显著性检验。说明提高环境质量对本地绿色创新具有显著的促进作用。可能的原因在于,在当前生态文明建设和环保督察形势下,建成区绿化覆盖率的增加与工业SO_2排放量提高意味着政府环境规制强度增强,根据波特假说可知[49],环境规制可以倒逼企业更加重视进行创新活动,从而提高绿色创新水平。从间接效应来看,建成区绿化覆盖率的间接效应显著为正,而工业SO_2排放量的间接效应不显著,说明建成区绿化覆盖率的增加会在促进本地绿色创新的同时,对周边绿色创新的发展也有一定的促进作用。

综上,通过空间杜宾模型的结果来看,科技投入的系数明显大于其他因素,并且显著为正,说明黄河流域绿色创新受到科技投入的正向促进作用最明显。从分解效应来看,各因素的直接效应和空间杜宾模型结果保持一致,城市RD人员全时当量和第三产业占GDP比重具有显著的负向空间溢出效应,而公共图书馆藏书量与建成区绿化覆盖率具有显著的正向空间溢出效应。上述结果通过了利用更换模型方式的稳健性检验。

2.3.3 黄河流域绿色创新区域异质性分析 由上文的分析可知,黄河流域绿色创新在上、中、下游之间存在显著的空间差异,为进一步分析影响绿色创新在不同区域的差异性,本文基于地理距离矩阵,将分别对上游、中游、下游3样本进行上述回归,进一步进行异质性分析(表5)。

科技投入对于黄河流域上、中、下游绿色创新均具有显著的正向促进作用,其中,对上游地区的促进作用最强,科学技术支出和城市RD人员全时当量对上游地区的系数分别为0.00452和0.0411,均明显高于中游地区和下游地区。可能的原因在于,上游地区经济起步较晚,人才资源相对缺乏,进行技术、人才等要素投入可以明显提高这一区域的绿色创新水平。经济基础对中游地区的影响明显大于上游和下游地区,其中,人均GDP(-0.00138)对中游地区绿色创新具有显著的抑制作用,第三产业占GDP比重(2.596)对中游地区绿色创新具有显著的促进作用。可能的原因在于,中游地区资源型城市众多,经济发展需要打破"资源诅咒",更需要依赖产业结构的高级化促进绿色创新发展。社会文化对于下游地区的影响明显大于上游和中游地区,职员平均工资与公共图书馆藏书量对下游地区的系数分别0.0202和0.0267,均通过了1%显著性检验,对绿色创新具有显著的促进作用。可能的原因在于,下游地区与上游、中游地区相比,突破了单纯依靠科研人才与经济支撑的阶段,进入到通过社会文化促进绿色创新的新阶段。

3 结论与政策启示

3.1 结论

本文基于2005—2020年黄河流域89个城市,以绿色专利数量作为衡量绿色创新的指标,运用标准差椭圆和空间自相关分析绿色创新的空间分异,

表5 区域异质性分析结果

Tab. 5 Analysis results of regional heterogeneity

变量	黄河上游系数(t统计值)	黄河中游系数(t统计值)	黄河下游系数(t统计值)
$\ln(x_1)$	0.00452^{***}(0.000737)	0.00353^{***}(0.000425)	0.00402^{***}(0.000816)
$\ln(x_2)$	0.0411^{***}(0.00892)	0.0198^{***}(0.00448)	0.0184^{**}(0.00836)
$\ln(x_3)$	0.000718^{***}(0.000165)	-0.00138^{***}(0.000304)	−0.00159(0.00120)
x_4	1.297^{***}(0.307)	2.596^{***}(0.982)	−0.654(2.510)
$\ln(x_5)$	0.000334(0.000467)	0.00185(0.00223)	0.0202^{***}(0.00638)
$\ln(x_6)$	-0.0367^{***}(0.00832)	0.0412^{***}(0.00460)	0.0267^{***}(0.00570)
x_7	-1.093^{***}(0.421)	-3.080^{***}(0.990)	-2.910^{*}(1.611)
$\ln(x_8)$	0.000103(0.0000880)	-0.000371^{*}(0.000191)	-0.00106^{***}(0.000235)
$W_x\ln(x_1)$	−0.00157(0.00319)	0.00155(0.00154)	-0.00613^{***}(0.00137)
$W_x\ln(x_2)$	-0.150^{***}(0.0430)	0.0209(0.0147)	0.00858(0.0212)
$W_x\ln(x_3)$	0.00478^{**}(0.00197)	0.00908^{***}(0.00144)	-0.0184^{**}(0.00774)
$W_x(x_4)$	3.044(4.183)	0.975(5.126)	−17.26(10.94)
$W_x\ln(x_5)$	−0.000257(0.000963)	-0.0417^{***}(0.00684)	0.0267(0.0194)
$W_x\ln(x_6)$	0.0295(0.0522)	0.0210^{**}(0.0107)	0.0773(0.0530)
$W_x(x_7)$	-5.813^{*}(3.251)	-33.22^{***}(6.586)	-45.14^{***}(15.39)
$W_x\ln(x_8)$	-0.00333^{***}(0.00114)	−0.000413(0.00116)	0.00568^{***}(0.00214)
Spatial rho	−0.0846(0.123)	-0.840^{***}(0.257)	-0.392^{***}(0.105)
N	288	480	528
R^2	0.729	0.304	0.849

注：W_x为空间滞后项。

利用空间杜宾模型分析黄河流域绿色创新的影响因素得出以下研究结论：(1) 在时间演化上，黄河流域以及上游、中游和下游地区的绿色创新均呈现快速增长趋势。(2) 通过标准差椭圆发现，绿色创新的标准差椭圆呈现"东北—西南"向分布格局，各参数基本稳定，重心呈现"先向东、后向西"移动趋势。(3) 通过空间相关性分析发现，黄河流域绿色创新发展存在稳定且较为明显的全局空间自相关关系，局部空间自相关以高-高型和低-低型为主，山东半岛城市群分布在热点区，黄河流域中上游地区的城市多位于冷点区。(4) 通过空间杜宾模型的结果来看，科技投入的回归系数显著为正，且明显大于其他因素，说明黄河流域绿色创新受到科技投入的正向促进作用最明显。从分解效应来看，各因素的直接效应和空间杜宾模型结果保持一致，城市RD人员全时当量和第三产业占GDP的比重具有显著的负向空间溢出效应，而公共图书馆藏书量与建成区绿化覆盖率具有显著的正向空间溢出效应。(5) 通过区域异质性分析可知，科技投入对黄河流域上游地区绿色创新的正向促进作用最强，产业结构高级化可以显著促进中游地区绿色创新的发展，社会文化对下游地区绿色创新存在较强的正向促进作用。

3.2 政策启示

基于上述研究结论，结合黄河流域生态保护和高质量发展的要求，本文对黄河流域绿色创新提出以下政策建议：

(1) 考虑到绿色创新存在显著的空间自相关和集聚特征，黄河流域需要建立绿色创新合作和协同发展机制。一方面，强化下游地区绿色创新的集聚水平，把下游地区建设为带动全流域绿色创新水平提高的增长极，同时把下游地区建设成为在全国绿色创新领域具有影响力和比较优势的高地。另一方面，发挥下游地区对全流域的辐射和扩散作用，强化下游地区对上游地区的科技人才支持，对中游地区的绿色产业支持，通过不同区域的合作和协同带动全流域绿色创新水平提高。

(2) 针对科技投入能够显著促进绿色创新水平提高，黄河流域需要重视科技对绿色创新的带动作用。从科技资金投入来看，既需要提高科学技术支出比重，也需要通过政府和社会资本合作的方式加快建立多层次绿色金融市场和服务体系，实现资金来源的多元化。从科技人才投入来看，既需要加强

与绿色创新对口专业的人才培养以及高技术人才和产业领军人才培育,也需要吸引其他区域的绿色创新高层次人才到黄河流域核心城市指导工作,发挥高层次人才对绿色创新的带动作用。

(3) 针对绿色创新影响因素的区域异质性,黄河流域需要分区域采取措施促进绿色创新水平提高。对于科技投入显著促进绿色创新的上游地区而言,需要强化科技资金和人才的投入,推动上游地区绿色创新实现跨越发展;对于经济基础显著促进绿色创新的中游地区而言,需要重视产业结构优化升级,尤其是大力发展绿色产业;对于社会文化显著促进绿色创新的下游地区而言,需要重视教育、文化和社会事业的溢出效应和调节作用,促进绿色创新水平进一步提高。

参考文献(References)

[1] 董会忠, 韩沅刚. 复合生态系统下城市高质量发展时空演化及驱动因素研究——以黄河流域7大城市群为例[J]. 人文地理, 2021, 36(6): 96-107. [Dong Huizhong, Han Yuangang. Spatiotemporal evolution and driving factors of urban quality development in a complex ecosystem: Taking the seven major urban agglomerations along the Yellow River Basin as examples[J]. Human Geography, 2021, 36(6): 96-107.]

[2] 李旭. 绿色创新相关研究的梳理与展望[J]. 研究与发展管理, 2015, 27(2): 1-11. [Li Xu. Analysis and outlook of the related researches on green innovation[J]. R&D Management, 2015, 27(2): 1-11.]

[3] 杨阳, 曾刚, 葛世帅, 等. 国内外绿色创新研究进展与展望[J]. 经济地理, 2022, 42(3): 10-21. [Yang Yang, Zeng Gang, Ge Shishuai, et al. Research progress and prospects of green innovation at home and abroad[J]. Economic Geography, 2020, 42(3): 10-21.]

[4] 付帼, 卢小丽, 武春友. 中国省域绿色创新空间格局演化研究[J]. 中国软科学, 2016(7): 89-99. [Fu Guo, Lu Xiaoli, Wu Chunyou. Research on spatial pattern evolution of provincial green innovation in China[J]. China Soft Science, 2016(7): 89-99.]

[5] 任建辉, 赖琳琳, 何则, 等. 基于绿色专利的黄河流域绿色创新格局的时空演进及影响因素[J]. 世界地理研究, 2023, 32(9): 78-92. [Ren Jianhui, Lai Linlin, He Ze, et al. Spatio-temporal evolution and influencing factors of green innovation pattern in the Yellow River Basin based on green patents[J]. World Regional Studies, 2023, 32(9): 78-92.]

[6] 黄磊, 吴传清. 长江经济带工业绿色创新发展效率及其协同效应[J]. 重庆大学学报(社会科学版), 2019, 25(3): 1-13. [Huang Lei, Wu Chuanqing. Research on the efficiency and synergetic effect of industry's green development and innovative development in the Yangtze River Economic Belt[J]. Journal of Chongqing University (Social Science Edition), 2019, 25(3): 1-13.]

[7] 滕堂伟, 潘雅君, 王胜鹏, 等. 长三角地区城市绿色创新效率网络空间结构演化及影响因素[J]. 长江流域资源与环境, 2023, 32(7): 1335-1348. [Teng Tangwei, Pan Yajun, Wang Shengpeng, et al. Evolution and driving factors of spatial network structure of green innovation efficiency in Yangtze River Delta[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2023, 32(7): 1335-1348.]

[8] 董会忠, 李旋, 张仁杰. 粤港澳大湾区绿色创新效率时空特征及驱动因素分析[J]. 经济地理, 2021, 41(5): 134-144. [Dong Huizhong, Li Xuan, Zhang Renjie. Spatial-temporal characteristics and driving factors of green innovation efficiency in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area[J]. Economic Geography, 2021, 41(5): 134-144.]

[9] 段德忠, 杜德斌. 中国城市绿色技术创新的时空分布特征及影响因素[J]. 地理学报, 2022, 77(12): 3125-3145. [Duan Dezhong, Du Debin. Green technology innovation in China city system: Dynamics and determinants[J]. Acta Geographica Sinica, 2022, 77(12): 3125-3145.]

[10] 王金河, 张玲梅. 中国绿色创新效率的地区差异及空间收敛性研究[J]. 生态经济, 2023, 39(1): 81-86, 100. [Wang Jinhe, Zhang Lingmei. Regional differences and spatial convergence of green innovation efficiency in China[J]. Ecological Economy, 2023, 39(1): 81-86, 100.]

[11] 许玉洁, 刘曙光. 黄河流域绿色创新效率空间格局演化及其影响因素[J]. 自然资源学报, 2022, 37(3): 627-644. [Xu Yujie, Liu Shuguang. Spatial pattern evolution and influencing factors of green innovation efficiency in the Yellow River Basin[J]. Journal of Natural Resources, 2022, 37(3): 627-644.]

[12] 张辽, 黄蕾琼. 中国工业企业绿色技术创新效率的测度及其时空分异特征——基于改进的三阶段SBM-DEA模型分析[J]. 统计与信息论坛, 2020, 35(12): 50-61. [Zhang Liao, Huang Leiqiong. Research on proactive technological innovation efficiency evaluation of industrial enterprises: Analysis based on improved three stage SBM-DEA model[J]. Statistics & Information Forum, 2020, 35(12): 50-61.]

[13] 张娟, 耿弘, 徐功文, 等. 环境规制对绿色技术创新的影响研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(1): 168-176. [Zhang Juan, Geng Hong, Xu Gongwen, et al. Research on the influence of environmental regulation on green technology innovation[J]. China Population, Resources and Environment, 2019, 29(1): 168-176.]

[14] 王惠, 王树乔, 苗壮, 等. 研发投入对绿色创新效率的异质门槛效应——基于中国高技术产业的经验研究[J]. 科研管理, 2016, 37(2): 63-71. [Wang Hui, Wang Shuqiao, Miao Zhuang, et al. Heterogeneity threshold effect of R&D investment on green innovation efficiency based on Chinese high-tech industries[J]. Science Research Management, 2016, 37(2): 63-71.]

[15] 吴朝霞, 许越, 孙坤. 城市集聚效应对绿色技术创新的影响研究——基于中国232个地级及以上城市的空间计量分析[J]. 经济地理, 2022, 42(10): 25-34, 71. [Wu Zhaoxia, Xu Yue, Sun

Kun. Impact of urban economic agglomeration on green technological innovation: Spatial econometric analysis based on the panel data of 232 prefecture-level cities[J]. Economic Geography, 2022, 42(10): 25-34, 71.]

[16] 孙勇, 樊杰, 孙中瑞, 等. 黄河流域绿色技术创新时空格局及其影响因素分解[J]. 生态经济, 2022, 38(5): 60-67. [Sun Yong, Fan Jie, Sun Zhongrui, et al. Temporal and spatial pattern of green technology innovation and its influencing factors in the Yellow River Basin[J]. Ecological Economy, 2022, 38(5): 60-67.]

[17] 孙中瑞, 樊杰, 孙勇, 等. 中国绿色科技创新效率空间关联网络结构特征及影响因素[J]. 经济地理, 2022, 42(3): 33-43. [Sun Zhongrui, Fan Jie, Sun Yong, et al. Structural characteristics and influencing factors of spatial correlation network of green science and technology innovation efficiency in China[J]. Economic Geography, 2022, 42(3): 33-43.]

[18] 易明, 程晓曼. 长江经济带城市绿色创新效率时空分异及其影响因素[J]. 城市问题, 2018(8): 31-39. [Yi Ming, Cheng Xiaoman. Spatial-temporal differences and influencing factors of green innovation efficiency along the Yangtze River Economic Belt[J]. Urban Problems, 2018(8): 31-39.]

[19] Liu K, Xue Y T, Chen Z F, et al. The spatiotemporal evolution and influencing factors of urban green innovation in China[J]. Science of the Total Environment, 2023, 857(1): 159426, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.159426.

[20] 肖仁桥, 丁娟. 我国企业绿色创新效率及其空间溢出效应——基于两阶段价值链视角[J]. 山西财经大学学报, 2017, 39(12): 45-58. [Xiao Renqiao, Ding Juan. Research on the green innovation efficiency and spatial spillover effects in Chinese enterprises: From the angle of the two-stage value chain[J]. Journal of Shanxi University of Finance and Economics, 2017, 39(12): 45-58.]

[21] 彭文斌, 苏欣怡, 杨胜苏, 等. 环境规制视角下城市绿色创新时空演变及溢出效应[J]. 地理科学, 2023, 43(1): 41-49. [Peng Wenbin, Su Xinyi, Yang Shengsu, et al. Spatio-temporal evolution and spillover effects of urban green innovation under environmental regulation[J]. Scientia Geographica Sinica, 2023, 43(1): 41-49.]

[22] 刘岩, 程钰, 王亚平. 黄河流域生产性服务业集聚对城市绿色全要素生产率的影响效应与空间溢出[J]. 地理研究, 2023, 42(4): 917-935. [Liu Yan, Cheng Yu, Wang Yaping. Spatial spillover and effect of producer service agglomeration on urban green total factor productivity in the Yellow River Basin[J]. Geographical Research, 2023, 42(4): 917-935.]

[23] 王博, 张永忠, 陈灵杉, 等. 中国城市绿色创新水平及影响因素贡献度分解[J]. 科研管理, 2020, 41(8): 123-134. [Wang Bo, Zhang Yongzhong, Chen Lingshan, et al. Urban green innovation level and decomposition of its determinants in China[J]. Science Research Management, 2020, 41(8): 123-134.]

[24] 董直庆, 王辉. 环境规制的“本地—邻地”绿色技术进步效应[J]. 中国工业经济, 2019(1): 100-118. [Dong Zhiqing, Wang Hui. Local-neighborhood effect of green technology of environmental regulation[J]. China Industrial Economics, 2019(1): 100-118.]

[25] Dong S M, Xue Y T, Ren G X, et al. Urban green innovation efficiency in China spatiotemporal evolution and influencing factors[J]. Land, 2023, 12(1): 75, doi: 10.3390/land12010075.

[26] 韩增林, 仝燕波, 王耕. 中国海洋生态安全时空分异及演化趋势研究[J]. 地理科学, 2022, 42(7): 1166-1175. [Han Zenglin, Tong Yanbo, Wang Geng. Spatial-temporal differentiation and evolution trend of marine ecological security in China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2022, 42(7): 1166-1175.]

[27] 徐丽, 曲建升, 李恒吉, 等. 西北地区居民生活碳排放现状分析及预测[J]. 干旱区地理, 2019, 42(5): 1166-1175. [Xu Li, Qu Jiansheng, Li Hengji, et al. Analysis and prediction of household carbon emission in northwest China[J]. Arid Land Geography, 2019, 42(5): 1166-1175.]

[28] 奥勇, 蒋嶺峰, 白召弟, 等. 基于格网GIS的黄河流域土地生态质量综合评价[J]. 干旱区地理, 2022, 45(1): 164-175. [AO Yong, Jiang Lingfeng, Bai Zhaodi, et al. Comprehensive evaluation of land ecological quality in the Yellow River Basin based on Grid-GIS[J]. Arid Land Geography, 2022, 45(1): 164-175.]

[29] 项金桥, 高春东, 马甜, 等. 县域尺度中国网络诈骗时空分布特征研究[J]. 地理科学, 2021, 41(6): 1079-1087. [Xiang Jinqiao, Gao Chundong, Ma Tian, et al. Spatial-temporal distribution characteristics of cyber fraud in China on county scale[J]. Scientia Geographica Sinica, 2021, 41(6): 1079-1087.]

[30] 贺山峰, 梁爽, 吴绍洪, 等. 长三角地区城市洪涝灾害韧性时空演变及其关联性分析[J]. 长江流域资源与环境, 2022, 31(9): 1988-1999. [He Shanfeng, Liang Shuang, Wu Shaohong, et al. Analysis on spatio-temporal evolution and relevance of urban flood disaster resilience in Yangtze River Delta[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2022, 31(9): 1988-1999.]

[31] 马卫, 黄晓燕, 曹小曙. “一带一路”沿线国家开放度时空格局及其影响因素[J]. 干旱区地理, 2020, 43(5): 1358-1370. [MA Wei, Huang Xiaoyan, Cao Xiaoshu. Spatio-temporal pattern of openness of countries along the Belt and Road Initiative and its influencing factors[J]. Arid Land Geography, 2020, 43(5): 1358-1370.]

[32] 刘凯, 吴怡, 陶雅萌, 等. 中国省域生态文明建设对碳排放强度的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(7): 50-56. [Liu Kai, Wu Yi, Tao Yameng, et al. The influence of ecological civilization construction to carbon emission intensity in China’s provinces[J]. China Population, Resources and Environment, 2019, 29(7): 50-56.]

[33] 李健, 李宁宁, 苑清敏. 高新技术产业绿色创新效率时空分异及影响因素研究[J]. 中国科技论坛, 2021(4): 92-101. [Li Jian, Li Ningning, Yuan Qingmin. Study on the spatial-temporal differences and influencing factors of green innovation efficiency in high-tech industry[J]. Forum on Science and Technology in China, 2021(4): 92-101.]

[34] 段德忠, 夏启繁, 张杨, 等. 长江经济带环境创新的时空特征及

其影响因素[J]. 地理科学, 2021, 41(7): 1158-1167. [Duan Dezhong, Xia Qifan, Zhang Yang, et al. Evolution pattern and impact factors of environmental innovation in the Yangtze River Economic Belt[J]. Scientia Geographica Sinica, 2021, 41(7): 1158-1167.]

[35] 郭付友, 高思齐, 佟连军, 等. 黄河流域绿色发展效率的时空演变特征与影响因素[J]. 地理研究, 2022, 41(1): 167-180. [Guo Fuyou, Gao Siqi, Tong Lianjun, et al. Spatio-temporal evolution track and influencing factors of green development efficiency in Yellow River Basin[J]. Geographical Research, 2022, 41(1): 167-180.]

[36] 罗良文, 梁圣蓉. 国际研发资本技术溢出对中国绿色创新效率的空间效应[J]. 经济管理, 2017, 39(3): 21-33. [Luo Liangwen, Liang Shengrong. The spatial effect of international R&D capital technology spillovers on the efficiency of China's green technology innovation[J]. Business Management Journal, 2017, 39(3): 21-33.]

[37] 李婉红. 中国省域工业绿色技术创新产出的时空演化及影响因素: 基于30个省域数据的实证研究[J]. 管理工程学报, 2017, 31(2): 9-19. [Li Wanhong. Spatial-temporal evolution and factors of industrial green technological innovation output in China's Provinces: An empirical study of 30 provinces' data[J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2017, 31(2): 9-19.]

[38] 李金滟, 李泽宇, 李超. 城市绿色创新效率实证研究——来自长江中游城市群的证据[J]. 江西财经大学学报, 2016(6): 3-16. [Li Jinyan, Li Zeyu, Li Chao. An empirical study on the efficiency of green innovation in cities: Evidence from urban agglomerations in the middle reaches of the Yangtze River[J]. Journal of Jiangxi University of Finance and Economics, 2016(6): 3-16.]

[39] 李健, 马晓芳. 京津冀城市绿色创新效率时空差异及影响因素分析[J]. 系统工程, 2019, 37(5): 51-61. [Li Jian, Ma Xiaofang. Comparative analysis of the time-space differences and influencing factors of cities' green innovation efficiency in Beijing-Tianjin-Hebei[J]. Systems Engineering, 2019, 37(5): 51-61.]

[40] 罗勇根, 杨金玉, 陈世强. 空气污染、人力资本流动与创新活力——基于个体专利发明的经验证据[J]. 中国工业经济, 2019(10): 99-117. [Luo Yonggen, Yang Jinyu, Chen Shiqiang. Air pollution, human capital flow and innovative vitality: Evidence from individual patent inventions[J]. China Industrial Economics, 2019(10): 99-117.]

[41] 刘海猛, 方创琳, 黄解军, 等. 京津冀城市群大气污染的时空特征与影响因素解析[J]. 地理学报, 2018, 73(1): 177-191. [Liu Haimeng, Fang Chuanglin, Huang Jiejun, et al. The spatial-temporal characteristics and influencing factors of air pollution in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration[J]. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(1): 177-191.]

[42] Elhorst J P. Spatial econometrics from cross-sectional data to spatial panels[M]. Berlin: Springer, 2014: 37-93.

[43] 高燕, 孙根年. 中国A级景区空间关联性及异质性分析[J]. 经济地理, 2022, 42(12): 194-204. [Gao Yan, Sun Gennian. Spatial correlation and heterogeneity analysis of A-class scenic spots in China[J]. Economic Geography, 2022, 42(12): 194-204.]

[44] 李涛, 薛领, 李国平. 产业集聚空间格局演变及其对经济高质量发展的影响——基于中国278个城市数据的实证分析[J]. 地理研究, 2022, 41(4): 1092-1106. [Li Tao, Xue Ling, Li Guoping. The evolution of spatial pattern of industrial agglomeration and its impact on the high-quality economic development: Empirical analysis based on the data of 278 cities in China[J]. Geographical Research, 2022, 41(4): 1092-1106.]

[45] 郭金花, 郭淑芬, 郭檬楠. 城市科技型人才集聚的时空特征及影响因素——基于285个城市的经验数据[J]. 中国科技论坛, 2021(6): 139-148. [Guo Jinhua, Guo Shufen, Guo Mengnan. Research on the spatio-temporal characteristics and influencing factors of science and technology talents agglomeration of city: Based on empirical data from 285 cities[J]. Forum on Science and Technology in China, 2021(6): 139-148.]

[46] 鲁滋道, 宋婉怡, 王钺, 等. 黄河流域文化产业集群时空格局与空间溢出效应研究[J]. 干旱区地理, 2023, 46(11): 1927-1937. [Lu Zidao, Song Wanyi, Wang Yue, et al. Spatiotemporal pattern and spatial spillover effect of cultural industry clusters in the Yellow River Basin[J]. Arid Land Geography, 2023, 46(11): 1927-1937.

[47] 唐婷. 劳动力成本上升与企业创新:来自企业规模的解释[D]. 武汉: 武汉大学, 2017. [Tang Ting. Impact of labor costs on the enterprises innovation: Explained by firm size[D]. Wuhan: Wuhan University, 2017.]

[48] 林炜. 企业创新激励: 来自中国劳动力成本上升的解释[J]. 管理世界, 2013(10): 95-105. [Lin Wei. Enterprise innovation incentive: An explanation from the rise of labor costs in China[J]. Management World, 2013(10): 95-105.]

[49] Porter M E, van der Linde C. Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship[J]. Journal of Economic Perspectives, 1995, 9(4): 97-118.

Spatiotemporal evolution characteristics and influencing factors of green innovation in the Yellow River Basin

REN Guixiu,　LIU Kai

(School of Geography and Environment, Shandong Normal University, Jinan 250358, Shandong, China)

Abstract: This study uses green patent data to characterize green innovation by taking 89 prefecture-level and above cities in the Yellow River Basin of China from 2005 to 2020 as the research object. It employs a standard deviation ellipse and spatial autocorrelation to unveil green innovation's spatial and temporal evolution pattern. In addition, it uses a spatial Durbin model to analyze the factors influencing green innovation and decompose the spatial effects of various factors. The results indicate that: (1) green innovation in the Yellow River Basin and its upstream, midstream, and downstream areas demonstrate a rapid development trend. (2) The standard deviation ellipse of green innovation reveals a "northeast-southwest" distribution pattern with stable parameters. The center of gravity exhibits a moving pattern of "first east and then west". (3) Global spatial autocorrelation of green innovation is evident, with local spatial autocorrelation primarily characterized by high-high and low-low patterns. (4) Science and technology investment substantially positively impacts green innovation. The full-time equivalent of urban research and experimental development personnel and the proportion of the tertiary industry exhibit a substantial negative spatial spillover effect. Conversely, the number of books in public libraries and the green coverage of built-up areas demonstrate a substantial positive spatial spillover effect. (5) Science and technology investment has the strongest positive effect of promoting green innovation in the upper reaches. The upgrading of industrial structure substantially promotes the development of green innovation in the middle reaches. Simultaneously, social culture plays a strong positive role in advancing green innovation in the lower reaches.

Key words: green innovation; ellipse of standard deviation; spatial autocorrelation; spatial Durbin model; Yellow River Basin